Projeto Luminotécnico

Conteudista: Prof.ª M.ª Aline Monteiro Campos Garcia
Revisão Textual: Prof.ª Dra. Selma Aparecida Cesarin

Objetivos da Unidade:

- Compreender a metodologia para desenvolvimento de um projeto luminotécnico;
- Identificar os requisitos funcionais para a elaboração de um projeto luminotécnico;
- Reconhecer os cálculos necessários a serem desenvolvidos em um projeto de iluminação;
- Analisar que cálculos aplicar em um determinado tipo de iluminação e uso do ambiente;
- Aprimorar o desenvolvimento de cálculos manuais para verificação e instigar o uso de um *software* de iluminação para cálculos complexos.

📄 **Material Teórico**

📄 **Material Complementar**

📄 **Referências**

📄 Material Teórico

O Projeto na Prática

Os principais objetivos de um projeto de iluminação são: as boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente e a utilização da luz como instrumento de ambientação do espaço, na criação de efeitos especiais com a própria luz ou no destaque de objetos e superfícies.

Porém, por trás desses objetivos principais, existem vários critérios que devem ser considerados na elaboração de um projeto luminotécnico, como:

- Consumo de energia elétrica;
- Sistema de controle de iluminação;
- Manutenção e via útil;
- Custos;
- Iluminação de emergência;
- Satisfação do usuário e desempenho do sistema.

A Tabela 1 lista os requisitos funcionais para a elaboração e a revisão de um projeto de iluminação interna.

Tabela 1 – Lista de conferência para o projeto de iluminação localizada e sobre o plano de trabalho. A terceira coluna lista os principais pontos que devem ser considerados no projeto

Os usuários	Estão familiarizados com o lugar?	Orientação espacial dos usuários.
	Estão sofrendo um estresse excepcional?	• Orientações simples e claras; • Elementos familiares.
	Apresentam alguma deficiência específica?	• Apoio a necessidades especiais; • Apoio ao comportamento de compensação.
	Ficam dentro do recinto por mais de uma hora durante o dia?	Relação com o exterior janelas ou outros recursos especiais.

O recinto	Ele pode ter janelas?	• Vista direta; • Iluminação natural nas superfícies do recinto e nos planos de trabalho.
	Qual é a sua natureza?	• Consistência com o caráter da arquitetura; • Expectativas dos usuários.
	Quais são os objetivos da iluminação?	• **Exposição:** aumento da visibilidade de objetos específicos; • **Tarefas visuais:** aumento da visibilidade dos detalhes.

Exposição	Quais características do objeto devem ser destacadas?	Por exemplo: destaque da silhueta, uso das cores.
	Qual é o pano de fundo do objeto?	Contraste com o objeto.
	Que recursos, além da iluminação, podem ser empregados?	Por exemplo: movimento, posição em relação às linhas de visão dos usuários.

Tarefas visuais	Quais características do objeto devem ser destacadas?	Por exemplo: a forma tridimensional, os detalhes com baixo contraste.
	Que outros recursos, além da iluminação, podem ser utilizados?	Por exemplo: o uso da ampliação ou da codificação com cores.
	Qual é a geometria estabelecida entre o observador, o objeto e a fonte de luz?	O ofuscamento direto e as reflexões especulares provocados por janelas e luminárias.
	Qual é o melhor tamanho da fonte e a melhor direção da luz incidente sobre o objeto?	Sombras projetadas, destaque das texturas.
	Quanto tempo o usuário passa em cada tarefa visual?	• Fadiga do usuário, consistência do destaque; • Controle solar.

Janelas	Qual é a trajetória solar?	Controle solar.
	Qual é a vista das janelas?	Localização das janelas em relação às direções de visualização do usuário.
	Qual deveria ser o tamanho das janelas?	Distribuição da iluminância da luz natural em um recinto.
Luminâncias	Quantas são e onde devem ser instaladas?	Distribuição da iluminância gerada pela luz elétrica.
	A iluminação será modificada com frequência?	Posição de luminárias com pontos múltiplos como luzes de trilho.

Controle e energia	Quais expectativas os usuários devem ter do controle das luminárias e janelas.	Elementos do sombreamento, aberturas de janela, persianas, iluminação geral, iluminação sobre o plano de trabalho.
	Qual é o equilíbrio ideal entre a luz natural e a elétrica?	Aspecto natural do recinto, consumo de energia. Consumo de energia.
	Qual é a combinação mais eficaz entre lâmpadas e luminárias?	Consumo de energia.
	Os controles automáticos serão efetivos?	Aceitação por parte dos usuários e operação ao longo da vida útil do sistema de iluminação.
	Quanto tempo durará a instalação?	Custo total do sistema de energia elétrica compra dos equipamentos, instalação, operação, remoção e reciclagem.
Iluminação de emergência	Há ameaças ou exigências para a saída de emergência?	Dispositivos legais, exigências quanto à

		saúde e segurança dos usuários.

Fonte: Adaptada de TREGENZA; LOE, 2015, p. 121

Livro

Projeto de Iluminação

O livro indicado aborda de forma detalhada cada um dos pontos que devem ser considerados no projeto luminotécnico, que estão descritos na Tabela 1.

TREGENZA, P.; LOE, D. Projeto de iluminação. Porto Alegre: Bookman, p. 86-133, 2015.

Para desenvolver um projeto luminotécnico, é importante compreender o projeto arquitetônico, a disposição do mobiliário em cada ambiente, bem como é necessário levantar todos os requisitos funcionais, listados na Tabela 1.

O próximo passo é analisar e definir os tipos de iluminação que serão utilizados em cada ambiente (natural, artificial, direta, indireta, difusa, de efeito, de destaque, de orientação, de tarefa, *wall washing*) e, concomitantemente, escolher as luminárias (abajur, arandela, balizador, *plafon*, pendente, refletor, *spot*) e as lâmpadas (incandescente, de descarga, LED), que serão utilizadas.

Agora, é necessário realizar o memorial de cálculo, manualmente ou utilizando um *software* específico e, depois dos cálculos e dos resultados obtidos, analisar a distribuição uniforme de luz no ambiente e a existência de ofuscamento.

Se for necessário, substitua a luminária e a lâmpada por outra ou até mesmo repense o tipo de iluminação.

Após essas definições, organize os dados, monte as pranchas (folhas) com plantas, detalhes, memorial de cálculo, perspectivas e, assim, têm-se o projeto luminotécnico, pronto para a execução.

Importante!

Para pensar os tipos de iluminação, o modelo de luminária e lâmpada a serem utilizadas em um ambiente, é importante também pensar se esse ambiente irá ou não ter forro, o material e o tipo do mesmo, pois isso interfere na escolha da luminária. Um exemplo são as luminárias de embutir, que devem ser utilizadas em tetos de ambientes que têm forro. Caso o ambiente não tenha forro, deve-se utilizar, no teto, uma luminária de sobrepor ou pendente.

Cálculos

Como mencionado, na elaboração de um projeto luminotécnico, é necessário o desenvolvimento de cálculos.

Cálculo do Coeficiente de Luz Diurna

A luz diurna varia continuamente, a quantidade de luz natural em um ambiente, geralmente, é expressa como percentagem da iluminância externa do solo não obstruído.

Essa percentagem é chamada de coeficiente de luz diurna.

Para calcular o coeficiente de luz diurna, utilize a fórmula:

$$D = \frac{\theta \, x \, A_j \, x \, \tau}{A_t \left(1 - \rho^2\right)}$$

Onde:

- D = coeficiente de luz diurna média;
- θ = ângulo de céu visível;
- A_j = área das janelas;
- τ = transmitância das janelas;
- A_t = área total (piso+teto+paredes);
- ρ = refletância média das superfícies do recinto.

Cálculo da Penetração de Luz Solar no Ambiente

Análise de insolação e sombreamento de obstruções e aberturas e análise de proteções solares.

Fórmula para estimativa da altura do Sol ao meio-dia do horário solar de determinada data:

$$\gamma_{máx} = 90 - Ø - \delta_s \; graus$$

Onde:

- $\gamma_{máx}$ = elevação do Sol acima da linha do horizonte (altura solar), em graus;
- $Ø$ = latidude do local, em graus;
- δ_s = declinação solar, em graus.

Cálculos para Dimensionamento de Iluminação Artificial

Método dos *Lúmens* ou Método das Eficiências ou Método do Fluxo Luminoso ou Cálculo de Iluminação Geral

O principal objetivo desse método é a determinação do número de luminárias/lâmpadas necessárias para a iluminância média de um determinado ambiente.

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estabelece o valor da iluminância média para cada tipo de ambiente, tarefa ou atividade.

Cálculo para determinação do número de luminárias:

$$N = \frac{E_m \; x \; A}{F \; x \; n \; x \; Fd \; x \; Fu}$$

Onde:

- E_m = iluminância média exigida;
- A_t = área do recinto;
- F = fluxo luminoso por lâmpada;
- n = número de lâmpadas por luminária;
- F_d = coeficiente de manutenção ou fator de depreciação;
- F_u = coeficiente de utilização ou fator de utilização.

O fator de depreciação (F_d) considera o desgaste e a manutenção do sistema, evitando que o nível de iluminância real atinja valores inferiores aos desejados.

Em alguns casos, o fator de depreciação é fornecido pelo fabricante da luminária e, ao contrário, pode-se utilizar valores pré-estabelecidos:

- 15 a 20% para ambientes com boa manutenção (portanto, F_d = 0,85 ou 0,80);
- 30% para ambientes com manutenção ruim (portanto, F_d = 0,70);
- 40% para ambientes com manutenção crítica (portanto, F_d = 0,60).

E o fator de utilização da luminária, geralmente, é fornecido pelo fabricante, porém, para consultá-lo, é necessário calcular o índice do recinto (K).

Para cálculo do índice recinto, em que será utilizada iluminação direta, utilize a fórmula:

$$K_d = \frac{C \,.\, L}{h \,.\, (C + L)}$$

Onde:

- C = comprimento do ambiente, em metros;
- L = largura do ambiente, em metros;
- h = distância vertical, em metros, entre a luminária e o plano de trabalho (altura de montagem da luminária ou pé-direito útil).

Vídeo

Cálculo Luminotécnico

Caso o fabricante da luminária não forneça o fator de utilização, é necessário calculá-lo. Aprenda os cálculos no vídeo a seguir.

Para cálculo do índice do recinto, em que será utilizada iluminação indireta, utilize a fórmula:

$$K_i = \frac{3 \,.\, C \,.\, L}{2 \,.\, h'.(C + L)}$$

Onde:

- C = comprimento do ambiente, em metros;
- L = largura do ambiente, em metros;
- h' = distância vertical, em metros, entre o teto e o plano de trabalho.

Importante!

Alguns fabricantes fornecem o *RCR*, ao invés do *K*. Assim, a relação do *RCR* com o fator *K* é representada pela equação:

$$RCR = \frac{5}{K}$$

Método Ponto a Ponto ou Cálculo de Iluminação de Destaque

Esse método permite o cálculo da iluminância em qualquer ponto de uma determinada superfície, de forma individual.

Deve-se utilizá-lo quando as dimensões físicas da fonte de luz são pequenas em relação ao plano que deseja iluminar.

Se a altura "h" entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado for no mínimo 5 vezes maior do que as dimensões físicas da fonte de luz, pode-se calcular a iluminância pelo método de iluminância pontual (Figura 1), aplicando-se a fórmula:

$$E = \frac{I}{h^2}$$

Onde:

- E = iluminância, em lux;
- I = intensidade, em candelas;
- h = altura ou distância da fonte, em metros.

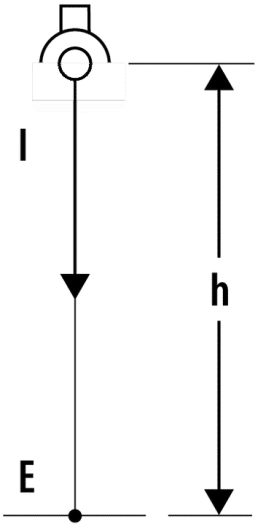

Figura 1 – Esquema de cálculo de iluminância

#ParaTodosVerem: desenho esquemático do cálculo de iluminância. Sobre fundo branco, ao centro, o desenho, na cor preta, uma luminária, representada por um círculo. Essa luminária tem uma intensidade luminosa (I), representada por uma seta vertical, que parte da luminária, incidindo até o plano do objeto (representada por uma linha horizontal). A iluminância pontual é representada pela letra E. A altura da luminária até a superfície é denominada de "h". Fim da descrição.

Se a incidência da luz não for perpendicular ao plano do objeto (Figura 2a), a fórmula passa a ser:

$$E = \frac{I\alpha \cos \alpha}{d^2}$$

Como:

$$d = \frac{h}{cos\ \alpha}$$

Tem-se:

$$E = \frac{I\alpha\ cos^3\ \alpha}{h^2}$$

Onde:

- E = iluminância, em lux;
- $I\alpha$ = intensidade luminosa da fonte pontual, em candelas;
- d = distância do feixe de luz, em candelas;
- h = altura ou distância da fonte, em metros;
- α = ângulo de incidência da luz em relação ao feixo.

A iluminância (E) em um ponto é o somatório de todas as Iluminâncias incidentes sobre esse ponto, oriundas de diferentes pontos de luz (Figura 2b), ou seja:

$$E = \frac{I_1}{h^2} + \sum\left(\frac{I\alpha.cos^3\alpha}{h^2}\right)$$

Onde:

- E = iluminância, em lux;
- I = intensidade luminosa da fonte pontual, em candelas;
- h = altura ou distância da fonte, em metros
- α = ângulo de incidência da luz em relação ao feixe.

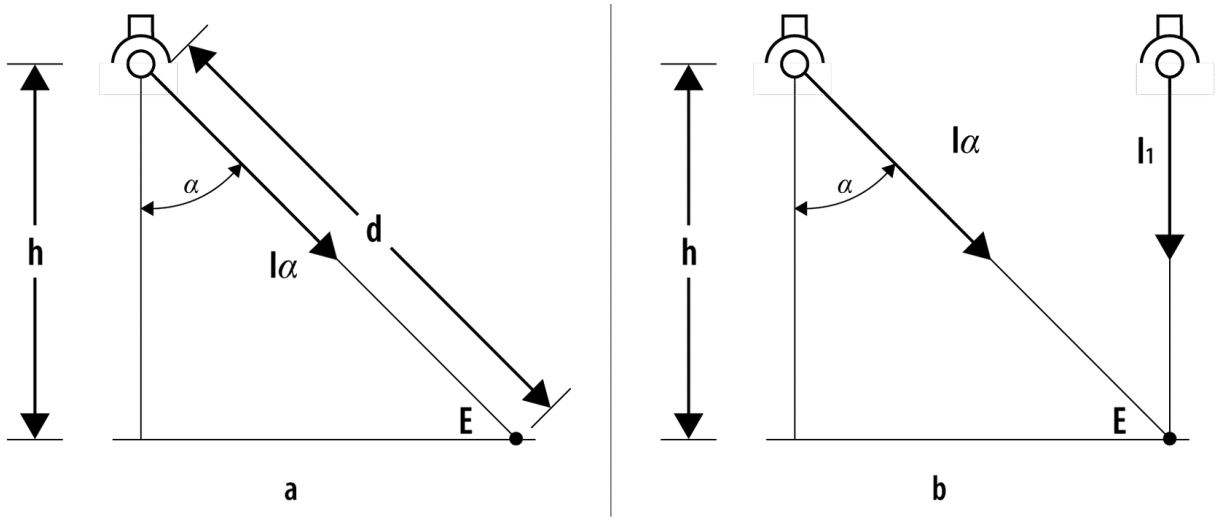

Figura 2 – Esquemas cálculos de iluminância

#ParaTodosVerem: desenhos esquemáticos do cálculo de iluminância. Sobre fundo branco, à esquerda, o desenho "a", na cor preta, de uma luminária, representada por um círculo, tem uma incidência da luz ($I\alpha$), representada por uma seta não perpendicular ao plano do objeto, isto é, tem um ângulo "alfa", diferente de 90°, a distância entre a luminária e o plano do objeto, representada pela letra "d". À direita, o desenho "b", na cor preta, de duas luminárias, representadas por um círculo cada. Na luminária da esquerda, incide luz (representada por uma seta) em um determinado ângulo "alfa" do plano do objeto e a luminária da direita incide luz (representada por uma seta) perpendicular ao plano do objeto. As duas luminárias iluminam um mesmo ponto, formando uma iluminância pontual, representada pela letra "E". Fim da descrição.

Importante!

Quanto mais inclinado for o feixe, maior será a área iluminada e menor será a iluminância, já que a mesma quantidade de luz terá de cobrir uma área mais extensa.

Exemplos de Aplicação dos Cálculos

Exemplo 1

Você foi contratado para desenvolver o projeto luminotécnico de uma sala de aula (Figura 3).

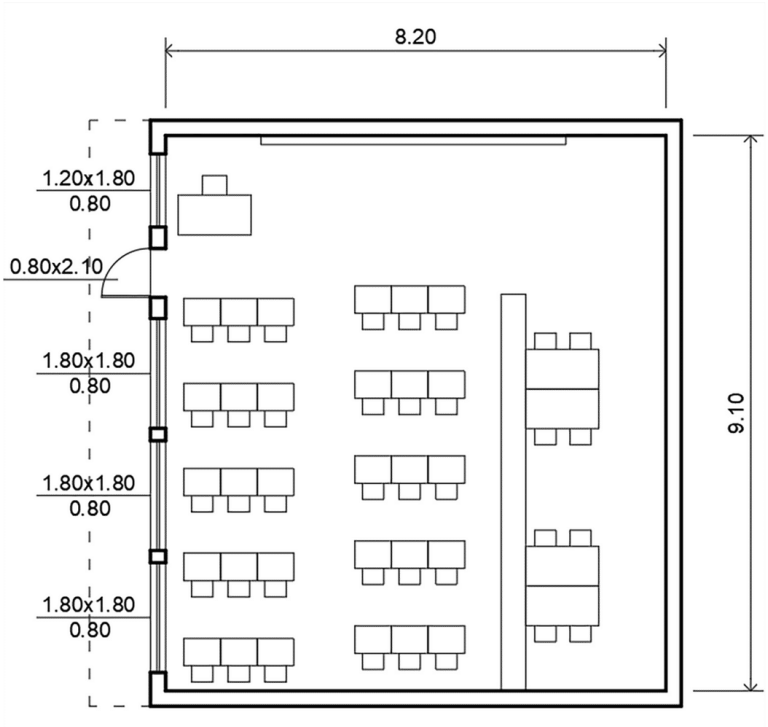

Figura 3 – Planta sala de aula

Fonte: TREGENZA; LOE, 2015, p. 140

#ParaTodosVerem: desenho da planta da sala de aula. Sobre fundo branco, com linhas pretas, está representada a planta da sala de aula, um retângulo com dimensões 9,10m (*y*) por 8,20m (*x*). A entrada da sala de aula está na parte superior esquerda. A porta tem 0,80m de largura por 2,10m de altura. Na mesma parede da porta, estão todas as janelas (três janelas de 1,80m de largura por 1,80m de altura, por 0,80m de peitoril e uma janela de 1,20m de largura por 1,80m de altura por 0,80m de peitoril. Em relação ao mobiliário da sala, a lousa está ao centro, na parte superior. A mesa do professor está à esquerda, na parte superior, ao lado da janela, perpendicular à porta. As carteiras dos alunos estão agrupadas de três em três, organizadas em duas fileiras (*y*). Cada fileira tem 5 grupos de carteiras. Ao lado das carteiras, próximas à lateral direita da sala, há quatro mesas, agrupadas duas e duas, em que estão os computadores utilizados na sala. No total, são quatro computadores. Na lateral esquerda, há a representação, com linha tracejada, de um beiral existente na parte externa da sala. Fim da descrição.

Os pontos-chave para o projeto de iluminação de uma sala de aula são:

- Uma criança desempenha diversas tarefas visuais em sala de aula, como leitura, escrita sobre o papel, uso de computador, manuseio de objetos tridimensionais, observação do rosto do professor, leitura de um quadro ou uma tela de projeção;
- O *layout* da sala de aula depende de método de ensino. A iluminação deve limitar o máximo possível o modo como a sala de aula é utilizada;
- A luz solar direta não deve incidir no professor nem nos alunos;
- O ofuscamento direto e o refletido são problemas muito comuns.

Dados

- Dimensões em planta: 9,10m (comprimento) x 8,20m (largura) (Figura 3);

- Alturas (Figura 4):
  Pé-direito: 2,90m;
  Peitoril da janela: 0,80m;
  Altura da janela: 1,80m;
  Tampo das mesas: 0,62m.

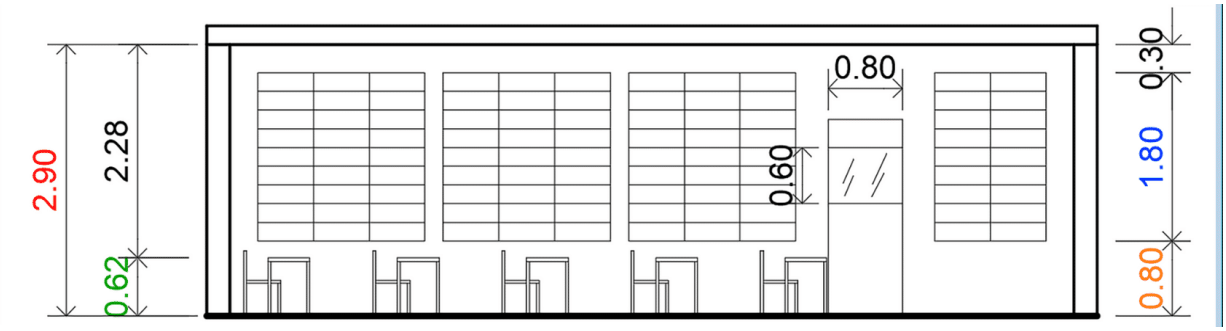

Figura 4 – Elevação da sala de aula (parede com janelas e porta)
Fonte: Acervo do Conteudista

#ParaTodosVerem: desenho da elevação da sala de aula. Sobre fundo branco, com linhas pretas, está representada uma elevação da sala de aula. Imagine-se dentro da sala, de frente para as janelas e para a porta. Assim, da esquerda para a direita, tem-se as três janelas, uma ao lado da outra. Depois das três janelas, está a porta, que tem um vidro de 0,80m (x) por 0,60m (y), para permitir visualizar de dentro para fora e vice-versa e, depois da porta, a última janela, com largura de 1,20m). As carteiras têm altura de 0,62m e da carteira (plano de trabalho) até o teto, são 2,28m, totalizando o pé-direito total da sala 2,90m. Fim da descrição.

- **Ângulos externos** (Figura 5):
  Linha do horizonte acima das obstruções: 25°;
  Beiral em relação à altura da janela: 35°.

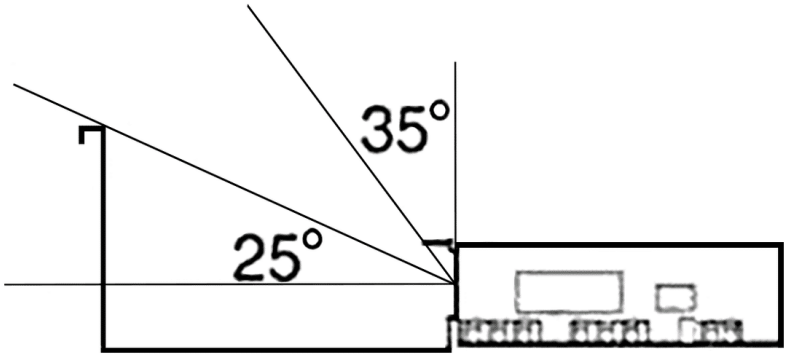

Figura 5 – Ângulos externos (beiral e obstruções)
Fonte: TREGENZA; LOE, 2015, p. 140

#ParaTodosVerem: desenho do corte da sala de aula. Sobre fundo branco, com linhas pretas, está representado o corte transversal (menor direção) da sala de aula. Ao lado esquerdo da sala de aula, um pouco afastada, está a edificação vizinha. As janelas estão voltadas para a face sul (orientação solar). O corte mostra a relação dos ângulos externos com o beiral da sala de aula. O beiral está localizado acima das janelas e a linha do horizonte acima da obstrução, isto é, do topo da edificação vizinha, até a janela da sala de aula, forma um ângulo de 25°. O término do beiral em relação ao plano das janelas forma um ângulo de 35°. Fim da descrição.

- **Refletâncias:**

  Piso: 0,20;

  Paredes: 0,50;

  Teto: 0,70;

  Solo junto às janelas (exterior): 0,20.

- **Transmitância:**

  Transmitância difusa do vidro duplo incolor: 0,69.

- **Valores de manutenção:**

  Redução da transmitância das janelas devido à sujeita: 0,90;

  Redução do fluxo luminoso das lâmpadas: 0,70.

- **Energia elétrica**
  Tipo de lâmpada e luminária: luminária com placa de *led* integrada;
  Iluminância média exigida sobre o plano de trabalho em sala de aula: 300 lx;
  Distância entre as luminárias e o teto: 0,00 m.

Cálculo do Coeficiente de Luz Diurna Média

- **Passo 1**: calcule as áreas
  Piso: 9,10 m x 8,20 m = 74,62 m^2
  Teto: 9,10 m x 8,20 m = 74,62 m^2
  Paredes: 9,10 m x 2,90 m = 26,39 m^2 x 2 = 52,58 m^2
  8,20 m x 2,90 m = 23,78 m^2 x 2 = 47,56 m^2

  Total (piso+teto+paredes) = 249,38 m^2

  Janelas: 1,80m x 1,80m = 3,24m^2 x 3 = 9,72m^2
  1,20m x 1,80m = 2,16m^2
  0,80m x 0,60m = 0,48m^2

  Total (janelas) = 12,36 m^2

- **Passo 2:** calcule o ângulo de céu visível;
  Esse é o ângulo em corte entre as obstruções e o beiral:

$$\theta = 90 - 35 - 25 = 30$$

- **Passo 3:** Calcule a transmitância das janelas;
  A transmitância do vidro multiplicada pelo coeficiente de manutenção da janela:

$$\tau = 0{,}69\ x\ 0{,}90 = 0{,}62$$

- **Passo 4:** calcule a refletância média das superfícies do recinto: as refletâncias médias ponderadas pelas áreas do piso, do teto, das paredes e das janelas, considerando a refletância do vidro como sendo 0,1.

$$\rho = \frac{\left(74{,}62\ x\ 0{,}20 + 74{,}62\ x\ 0{,}70 + \left(100{,}34 - 12{,}36\right)\ x\ 0{,}5 + 12{,}36\ x\ 0{,}1\right)}{249{,}58}$$

$$\rho = 0{,}45$$

- **Passo 5:** calcule o coeficiente de luz diurna média;

$$D = \frac{\theta\ x\ A_j\ x\ \tau}{A_t\left(1 - \rho^2\right)}$$

$$D = \frac{30\ x\ 12{,}36\ x\ 0{,}62}{249{,}58\ \left(1 - 0{,}45^2\right)} = 1{,}15 \text{ (que deve ser arredondado para 1\%)}$$

Onde:

- D = coeficiente de luz diurna média, em porcentagem;
- θ = ângulo de céu visível, em graus;
- A_j = área das janelas, em metros quadrados;
- τ = transmitância das janelas;
- A_t = área total (piso + tetos + paredes), em metros quadrados;
- ρ = refletância média das superfícies do recinto.

Um coeficiente de luz diurna média de 1% é baixo para uma sala de aula. Sem qualquer iluminação elétrica, a sala seria muito escura e, vistas do fundo da sala, as janelas provavelmente ofuscariam os alunos.

Esse exemplo mostra a importância de se fazer os cálculos de iluminação diurna já no início do projeto: a quantidade de luz natural em um ambiente depende da forma da edificação, do *layout* do terreno e da orientação solar.

O baixo coeficiente de luz diurna média nessa sala de aula é devido à obstrução existente próxima às janelas e ao beiral, para proteção solar, cuja efetividade como elemento de sombreamento deve ser conferida.

Caso houvesse a remoção do beiral, será que o coeficiente de luz diurna aumentaria?

Se o beiral for removido, o ângulo de corte será 5°, assim:

$$\theta = 90 - 25 - 5 = 60^{o}$$

E o novo cálculo do coeficiente de luz diurna média, seria:

$$D = \frac{60\ x\ 12{,}36\ x\ 0{,}62}{249{,}58\left(1 - 0{,}45^{2}\right)} = 2{,}31\%$$

O coeficiente de luz diurna média dobraria (Figura 6).

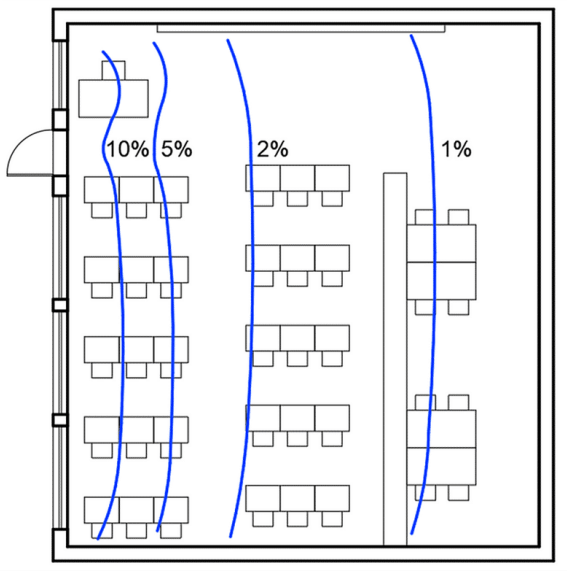

Figura 6 – Planta da sala de aula com as linhas de limite dos coeficientes de luz diurna. Essas linhas foram traçadas com o uso de um *software* de iluminação comum
Fonte: TREGENZA; LOE, 2015, p. 143

#ParaTodosVerem: desenho da planta sala de aula com linhas de limite dos coeficientes de luz diurna. Sobre fundo branco, com linhas pretas, está representada a planta da sala de aula, já descrita na Figura 1. Nessa planta, estão desenhadas quatro linhas verticais e irregulares, na cor azul, que representam a quantidade de luz diurna que entra pelas janelas e porta da sala de aula. Da esquerda para a direita, a primeira linha representa o coeficiente de luz diurna igual a 10%. A segunda linha, ao lado, 5%, a terceira linha, ao lado, 2% e a última linha mais para a direita, representa o coeficiente de luz diurna igual a 1%. Fim da descrição.

Cálculo da Penetração de Luz Solar

O beiral bloqueia adequadamente a incidência da luz solar direta na janela?

- **Passo 1:** calcule a altura do sol ao meio dia;
  Suponha que a latitude do local é 52°N.
  Aplique a fórmula:

$$\gamma_{máx} = 90 - Ø - \delta_s \; graus$$

$$\gamma_{máx} = 90 - 52 - 23{,}50 = 14{,}50^{o} \text{ (no solstício de inverno)}$$

$$\gamma_{máx} = 90 - 52 + 23{,}50 = 61{,}40^{o} \text{ (no solstício de verão)}$$

Onde:

- $\gamma_{máx}$ = elevação do sol acima da linha do horizonte (altura solar), em graus;
- $Ø$ = latitude do local, em graus;
- δ_s = declinação solar, em graus.

- **Passo 2:** desenhe os raios de luz desses ângulos em corte de pele da edificação (sala de aula) (Figura 7);

Figura 7 – Luz do sol da fachada sul (Hemisfério Norte) (a) meio dia do solstício de verão e (b) meio-dia do solstício de inverno

Fonte: Adaptada de TREGENZA; LOE, 2015, p. 142

#ParaTodosVerem: desenho de cortes da sala de aula, com a incidência dos raios solares. O corte é o mesmo descrito na Figura 5. A diferença é que à esquerda, na figura "a", está o corte com a representação dos raios solares, na cor vermelho, raios solares emitidos pelo sol do meio dia do solstício de verão, e que incidem na parte inferior da janela e na parede abaixo da janela. Na figura "b", está o corte com a representação dos raios solares, na cor vermelha, raios

solares emitidos pelo Sol do meio dia do solstício de inverno, e que incidem por toda a extensão da parede esquerda da sala de aula. Fim da descrição.

Observe que o beiral é inadequado como elemento de proteção solar. Em junho, quando a altura do Sol é máxima (Hemisfério Norte) e a sombra do beiral também é máxima ao longo da fachada, uma fração de luz solar continua incidindo na parte inferior da janela (Figura 7a).

Em dezembro, quando a edificação em frente bloqueia os raios de sol, uma área significativa da vidraça fica na sombra (Figura 7b).

Em todos os outros momentos, a quantidade de luz solar incidente na janela é maior.

Conclui-se que o beiral não é efetivo para o sombreamento e reduz significativamente a luz do céu que entra na sala. Ele deveria ser removido.

A luz do Sol não deve incidir sobre os alunos e os professores da sala de aula.

Assim, é necessário o uso de outra estratégia de sombreamento. Brises externos reduzem os ganhos térmicos mais do que cortinas ou qualquer outro elemento na parte interna da janela.

A fim de minimizar a necessidade de iluminação elétrica, o elemento de proteção solar deveria funcionar apenas quando há luz do sol e oferecer obstrução mínima quando o céu está encoberto.

Saiba Mais

O exemplo ilustra o caso mais simples: o de uma elevação Sul. Nas

outras orientações e horários, a altura do Sol e o azimute devem ser lidos nas cartas solares. Consulte o exemplo de cálculo com carta solar no livro Projeto de iluminação, de Peter Tregenza e David Loe, produzido pela Editora Bookman, em 2015, cap. 14, p. 173-5.

Cálculo do Método dos Lúmens

- **Passo 1:** pesquise a iluminância do projeto;
  Consulte a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, p. 12-23. Há uma tabela contendo tipos de ambiente, tarefa ou atividade, a especificação da iluminância, a limitação de ofuscamento e a qualidade da cor.
  Sala de aula = 300 lx

- **Passo 2:** calcule;
  Área do recinto:

$$A_t = C \, x \, L$$

$$A_t = 9{,}10 \, x \, 8{,}20 = 74{,}62 \, m^2$$

Onde:

- C = comprimento do ambiente, em metros;
- L = largura do ambiente, em metros.

Pé-direito útil ou altura de montagem ou altura da luminária ao plano de trabalho:

$$h = H - H_{pt}$$

$$h = 2{,}90 - 0{,}62 = 2{,}28\ m$$

Onde:

- h = distância vertical, em metros, entre a luminária e o plano de trabalho;
- H = distância vertical, em metros, do teto ao piso (pé-direito);
- H_{pt} = altura do plano de trabalho, em metros.

Índice do recinto (indicador das proporções do recinto):

$$K_d = \frac{C \,.\, L}{h \,.\, (C + L)}$$

$$K = \frac{9{,}10 \,.\, 8{,}20}{2{,}28 \,.\, (9{,}10 + 8{,}20)} = 1{,}89$$

Onde:

- C = comprimento do ambiente, em metros;
- L = largura do ambiente, em metros;
- h = distância vertical, em metros, entre a luminária e o plano de trabalho (altura de montagem da luminária ou pé-direito útil).

- **Passo 3:** selecione a(s) luminária(s) e a(s) lâmpada(s);
  Luminária: luminária LED (com placa de led integrada) de embutir, com 1,24m, indicada para uso em ambientes onde há necessidade de qualidade de luz e conforto

visual, com controle de ofuscamento rigoroso, como agências bancárias, escritórios, auditórios e salas de estudo (Figura 8).

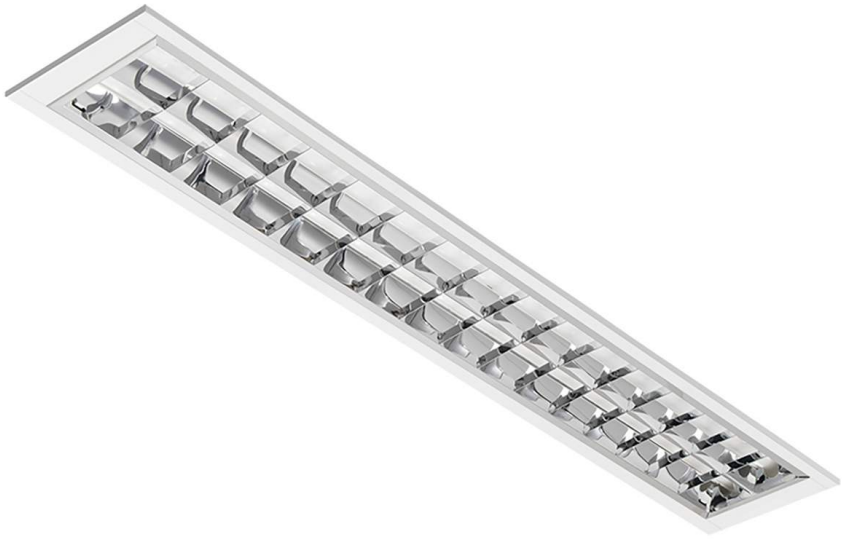

Figura 8 – Luminária Led EAA08-E3500840. Marca: *Lumicenter Lighting*
Fonte: Divulgação

#ParaTodosVerem: foto de uma luminária LED. Sobre fundo branco, está representada uma luminária de embutir, no formato retangular, na cor prata, com dimensões de 74mm por 1243mm. Fim da descrição.

Pesquise o fator de utilização da luminária, nos dados fotométricos do fabricante, usando o índice do recinto (1,89) e as refletâncias (piso=0,20; paredes=0,50; teto=0,70).

Nesse caso, o fabricante forneceu o RCR, ao invés do K (Tabela 2). Assim:

$$RCR = \frac{5}{K}$$

$$RCR = \frac{5}{1{,}89} = 2{,}64$$

Importante!

Na Tabela 2, fornecida pelo fabricante da luminária, o RCR está representado com números inteiros. Assim, pode-se fazer uma média do fator de utilização.

Fator de utilização luminária = 88% = 0,88 (Tabela 2).

Tabela 2 – Fator de Utilização

Teto (%)	70	70	70	50	50	50	30	30	30	0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0
RCR	**Fator de utilização (%)**									
0	112	112	112	107	107	107	102	102	102	96
1	102	99	97	98	96	94	94	93	91	86
2	93	88	84	89	86	82	86	83	81	77
3	84	79	74	82	77	73	79	75	72	69
4	77	71	66	75	69	65	73	68	64	62
5	70	64	59	68	63	58	67	62	58	56
6	65	58	53	63	57	53	62	56	52	50
7	60	53	48	58	52	48	57	52	48	46
8	55	49	44	54	48	44	53	48	44	42
9	52	45	41	51	45	40	50	44	40	39
10	48	42	38	47	41	37	46	41	37	36

Fonte: Adaptada de Lumicenter

Lâmpada: nesse caso, a luminária já tem placa de led integrada. Em casos diferentes, é necessário escolher qual tipo de lâmpada seria utilizada.

Dados da lâmpada:

Fluxo luminoso (*lm*): 4040;

Potência (*W*): 36;

Eficácia luminosa (*lm/W*): 112;

Temperatura de Cor (*K*): 4000;

IRC >80;

Vida Útil (*horas*): 50.000.

- **Passo 4:** calcule o número de luminárias;

$$N = \frac{E_m \, x \, A}{F \, x \, n \, x \, Fd \, x \, Fu}$$

$$N = \frac{300 \, x \, 74{,}62}{4040 \, x \, 1 \, x \, 0{,}70 \, x \, 0{,}88} = 8{,}99 \cong 9$$

Onde:

- E_m = iluminância média exigida;
- A_t = área do recinto;
- F = fluxo luminoso por lâmpada;
- n = número de lâmpadas por luminária;
- F_d = coeficiente de manutenção ou fator de depreciação;
- F_u = coeficiente de utilização ou fator de utilização.

- **Passo 5:** decida o *layout* das luminárias;
  O número de luminárias a serem utilizadas, segundo o cálculo anterior, são 9.
  Assim, serão distribuídas em três fileiras de três unidades com seus comprimentos paralelos à parede das janelas (Figura 9).
  Normalmente, o espaçamento entre as luminárias varia de 1 a 1,5 vezes o valor da altura útil (altura da luminária até o plano de trabalho) em todas as direções.
  O espaçamento até as paredes deve ser a metade do valor anterior.

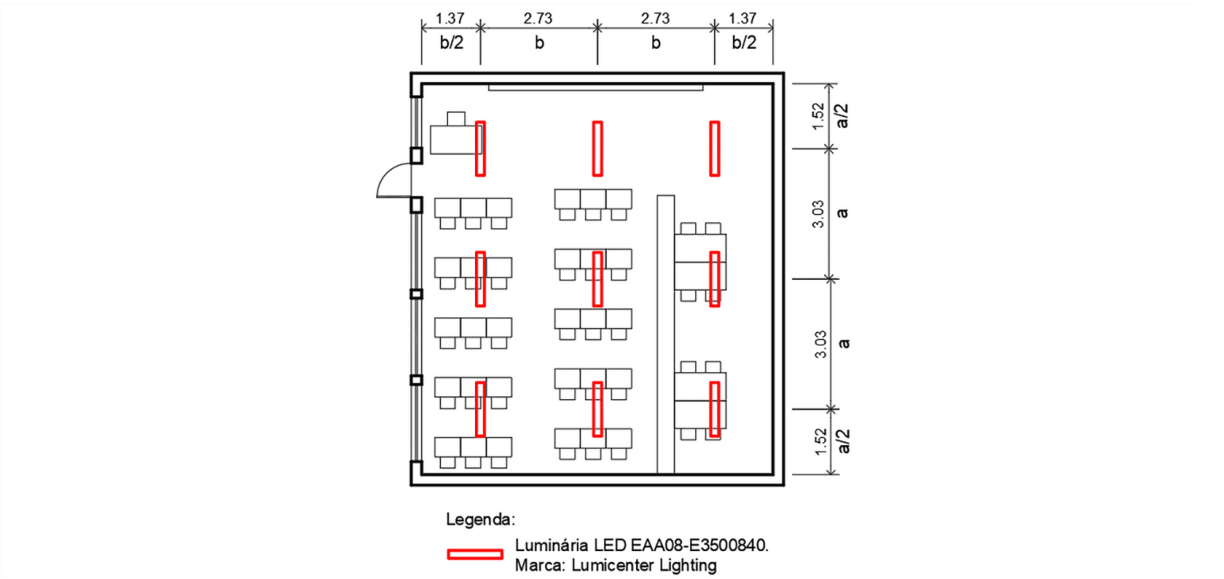

Figura 9 – Planta sala de aula com *layout* das luminárias
Fonte: Acervo do Conteudista

#ParaTodosVerem: desenho da planta sala de aula com *layout* das luminárias. Sobre fundo branco, com linhas pretas, está representada a planta da sala de aula, já descrita na Figura 1. Nessa planta, está o *layout* das luminárias, cada luminária está representada com um retângulo na vertical, na cor vermelha, sem preenchimento. As luminárias estão organizadas em três fileiras, cada fileira com três luminárias, totalizando nove luminárias. Da parede inferior da sala até o eixo das luminárias, tem-se 1,52m, do eixo dessas luminárias até o eixo das outras três luminárias, são 3,00m e, do eixo dessas luminárias, até as últimas três luminárias, são mais 3,00m e, do eixo dessas luminárias até a parede superior da sala, tem-se 1,52m. Na outra direção, da parede esquerda da sala até o eixo da primeira fileira de luminárias, tem-se 1,37m, do eixo da primeira fileira até o eixo da segunda fileira de luminárias, são 2,73m, do eixo da segunda fileira até o eixo da terceira fileira de luminárias, são mais 2,73m, e do eixo da terceira fileira de luminárias até a parede, tem-se 1,37m. Fim da descrição.

- **Passo 6:** calcule o consumo de energia;
  O consumo anual de eletricidade de uma instalação de iluminação elétrica é a potência da instalação multiplicada pelo número anual de horas de uso.
  Nesse exemplo, há 9 luminárias com placa de led integrada, cuja potência é 36 W.
  Portanto, o consumo total será:

$$39\ x\ 9 = 324\ W\ ou\ 0{,}324\ KW$$

A divisão de consumo total do circuito pela área do plano de trabalho resulta na densidade de consumo:

$$\frac{324}{74{,}62} = 4{,}34\ W/m^2$$

Considere que a sala de aula é utilizada 8 (horas por dia) x 5 (dias por semana) x 40 (semanas por ano), que é igual a 1600 horas por ano.

Assim, o consumo anual de energia, se todas as luzes elétricas ficarem sempre acesas durante esse período, seria:

$$0{,}324\ KW\ x\ 1600\ horas = 518{,}40\ KW/h$$

Importante!

Sempre que possível, combine iluminação natural e iluminação artificial. Essa combinação reduz o consumo de energia.

Nesse exemplo, para reduzir o consumo de energia de forma significativa, e prática, teríamos de utilizar *dimmers* com o controle de fotocélulas, de modo que a iluminância total da luz artificial e natural permanecesse em 300 K quando a luz natural fosse pouca, sem necessitar ligar e desligar

fileiras de luz, manualmente, no decorrer do dia. Porém, a instalação de um sistema de controle implica custo inicial elevado e, também, deve-se considerar o comportamento dos usuários frente a essa solução.

Exemplo 2

Você foi contratado para desenvolver o projeto luminotécnico de uma loja de roupas femininas (Figura 10), localizada em um s*hopping*.

Os pontos-chave para o projeto de iluminação de lojas são:

- A iluminação geral do espaço atrai os clientes;
- Considere o espaço como a área de trabalho dos funcionários. Eles desempenham diversas tarefas visuais;
- Na iluminação dos produtos, é importante que nem tudo tenha a mesma luminosidade. Assim, estabeleça uma hierarquia de luminosidade.

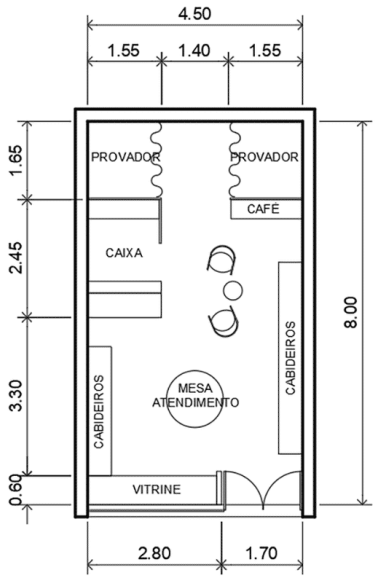

Figura 10 – Planta de loja de roupas femininas
Fonte: Acervo do Conteudista

#ParaTodosVerem: desenho da planta de loja de roupas femininas. Sobre fundo branco, com linhas pretas, está representada a planta da loja de roupas femininas, um retângulo com dimensões de 8,00m (y) por 4,250m (x). Na parede inferior, está a vitrine (2,80m x 0,60m) e a porta de entrada (1,70m) da loja. Entrando na loja, em cada um dos lados, esquerdo e direito, há cabideiros para exposição das roupas. Entre um cabideiro e outro, no centro, há uma mesa redonda para atendimento aos clientes. À esquerda, logo após o cabideiro, está o Caixa (2,45m x 1,55m). À direita, logo após o cabideiro, um aparador com café/ água, para os clientes. Entre o caixa e o cabideiro da direita, próximo ao café, estão duas poltronas com uma pequena mesa de canto e, ao fundo da loja, estão os dois provadores, sendo um à esquerda (1,55m x 1,65m) e outro à direita (1,55m x 1,65m). Fim da descrição.

No desenvolvimento do projeto em questão, o método de lúmens pode ser utilizado nas etapas preliminares, para identificação da quantidade de luz necessária, mas um outro tipo de cálculo é necessário, o cálculo de iluminação de destaque ou método ponto a ponto.

Suponha que se deseja calcular, individualmente, a iluminância sobre a superfície da mesa de atendimento da loja (Figura 11):

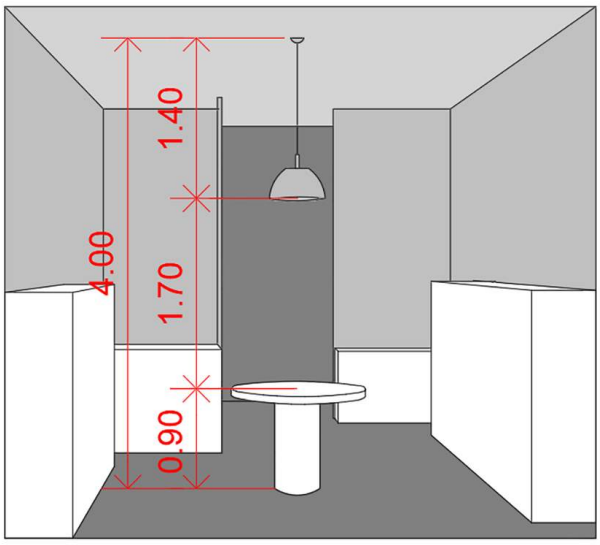

Figura 11 – Perspectiva da loja, com foco na iluminação da mesa de atendimento
Fonte: Acervo do Conteudita

#ParaTodosVerem: desenho da perspectiva da loja, com foco na iluminação da mesa de atendimento. Posicione-se do lado interno da loja, próximo à vitrine, e olhe para o fundo da loja. Você vê os dois cabideiros, na cor branca, a mesa de atendimento, cor branca, o balcão do caixa, cor branca, a aparador, cor branca, e as paredes, piso e teto, na cor cinza. A perspectiva dá ênfase à mesa redonda para atendimento. Sobre a mesa, há um pendente, tipo cúpula, na cor cinza. A mesa tem 0,90m de altura. Da mesa ao início do pendente, tem-se 1,70m, e do início do pendente ao teto, tem-se 1,40m, totalizando o pé-direito da loja, 4,00m. Fim da descrição.

- **Passo 1:** selecione a luminária e a lâmpada;
  Luminária: pendente de iluminação direta e indireta (Figura 12).

Figura 12 – Pendente modelo PD.5179.1.23.E27, da marca *Omega Light*
Fonte: Divulgação

#ParaTodosVerem: foto de uma luminária tipo pendente. Sobre fundo cinza, está representada uma luminária tipo pendente, no formato de cúpula, na cor preta, com diâmetro de 500m e altura de 250mm. Fim da descrição.

Lâmpada: PAR 20 EVO 25° 5,5W, da marca Stella;

Fluxo luminoso (*lm*): 450.

Intensidade luminosa (cd): 1100 cd.

Temperatura de Cor (K): 3000.

IRC mínimo: >95.

Ângulo de abertura (graus): 25.

- **Passo 2:** calcule a iluminância sobre a mesa de atendimento;
  Utilize a fórmula:

$$E = \frac{I}{h^2}$$

$$E = \frac{1100}{(1{,}70)^2} = 380{,}62\ lx$$

Onde:

- E = iluminância, em lux, de uma superfície;
- I = intensidade luminosa, em candelas, da lâmpada;
- h = altura, em metros, da luminária à superfície.

Quanto maior for o h, menor será a iluminância.

Exemplo 3

Deseja-se calcular, individualmente, a iluminância sobre o balcão do caixa da loja, porém a incidência de luz não é perpendicular ao plano do objeto (Figura 13):

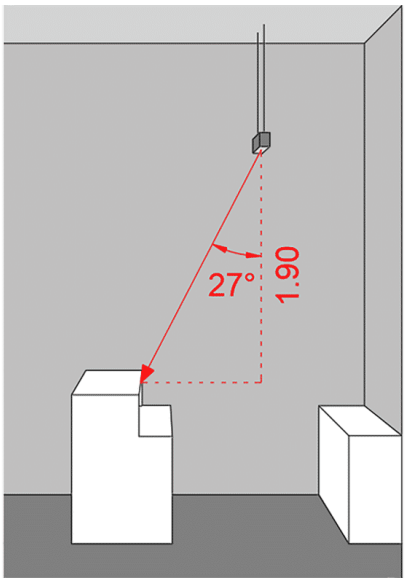

Figura 13 – Perspectiva da loja, com foco na iluminação do balcão do Caixa

Fonte: Acervo do Conteudista

#ParaTodosVerem: desenho da perspectiva da loja, com foco na iluminação do balcão do Caixa. Posicione-se do lado interno da loja, em frente ao cabideiro direito, e olhe em direção ao Caixa. Vê-se o balcão, na cor branca, e as paredes, teto e piso na cor cinza. A perspectiva dá ênfase a uma luminária tipo pendente, cor cinza escura, localizada entre o balcão até a parede (à direita) dos provadores. A luminária está a 1,90m da superfície superior do balcão, incidindo luz em um ângulo de 27° para o balcão. Fim da descrição.

- **Passo 1**: selecione a luminária e a lâmpada;
  Luminária: de sobrepor-pendente (Figura 14).

Figura 14 – Luminária sobrepor-pendente LAL 1352 22 D8, da marca *Light Tool*
Fonte: Divulgação

#ParaTodosVerem: foto de uma luminária LED, tipo sobrepor-pendente. Sobre fundo branco, está representada uma luminária sobrepor-pendente, no formato retangular, na cor branco, com dimensões 81mm x 621mm. Fim da descrição.

Uma vez que a incidência de luz não é perpendicular ao plano do objeto ou superfície, é necessário consultar os dados fotométricos da luminária.

Cada luminária tem sua Curva de Distribuição Luminosa (CDL), com as respectivas intensidades luminosas.

Os fabricantes fornecem gráficos nos quais as curvas são expressas em candelas (*cd*) por 1000 lúmens (*lm*) de acordo com ângulos de incidência (em graus), nos sentidos transversal e longitudinal da luminária.

Para calcular a iluminância em um ponto, no balcão do caixa, situado a um ângulo de 27°, tem-se que a intensidade luminosa, retirada diretamente do gráfico (Figura 15) é de aproximadamente 300 *cd* (candelas).

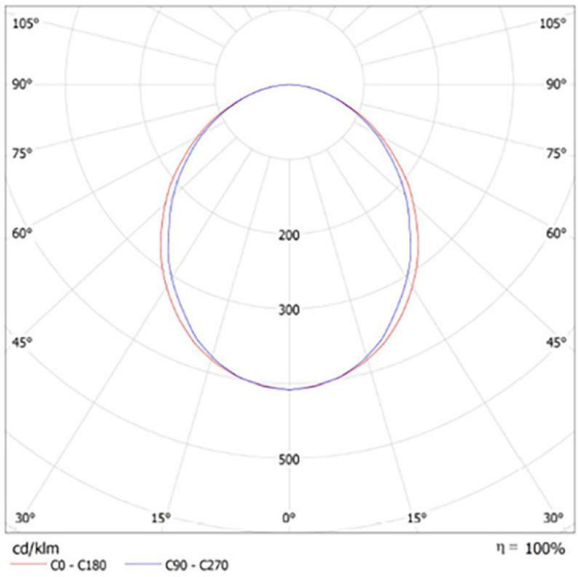

Figura 15 – Curvas de Distribuição Luminosa da luminária sobrepor-pendente LAL 1352 22 D8, da marca *Light Tool*
Fonte: Reprodução

#ParaTodosVerem: desenho das Curvas de Distribuição Luminosa da luminária. A curva faz o registro da distribuição luminosa de uma luminária. Sobre fundo branco, a curva é representada por meio de um gráfico, na cor preta, que marca a distribuição espacial da luz em um plano cartesiano, cujas variáveis são a distância e a intensidade luminosa. A luminária em questão, com feixe de luz a um ângulo de 27°, tem intensidade luminosa igual a 300 candelas. Fim da descrição.

Lâmpada: a luminária tem placa de LED integrada;
Fluxo luminoso (*lm*): 961.
Temperatura de cor (K): 3000.

- **Passo 2**: calcule a iluminância sobre o balcão do caixa;
  A intensidade luminosa da luminária é *I = 300 cd*, e o fluxo luminoso da lâmpada é

F = 961 lm.

Como o valor de intensidade luminosa da luminária se refere a *1000 lm*, tem-se que:

$$I\alpha = \frac{I}{1000}\ x\ (n\ x\ F)$$

$$I\alpha = \frac{300}{1000}\ x\ (1\ x\ 961) = 288{,}30\ lm$$

Onde:

- $I\alpha$ = intensidade luminosa, em lúmens, do facho de luz em um ângulo α;
- I = intensidade luminosa, em candelas, da luminária em ângulo α;
- n = número de lâmpadas na luminária;
- F = fluxo luminoso, em lúmens, da lâmpada.

Agora, calcule a iluminância sobre o balcão do caixa, utilizando a fórmula:

$$E = \frac{I\alpha\ cos^3\ \alpha}{h^2}$$

$$E = \frac{288{,}30\ .\ cos^3\ 27}{(1{,}90)^2} = 63{,}40\ lx$$

Onde:

- E = iluminância, em lux, sobre a superfície;
- $I\alpha$ = intensidade luminosa, em lúmens, do facho de luz a um determinado ângulo α;
- h = altura, em metros, da luminária até a superfície iluminada;
- α = ângulo (em graus) de incidência da luz.

Observe o nível mínimo de iluminância, recomendado pela Norma, e analise se a referida luminária e lâmpada, na posição indicada, são suficientes para iluminar a superfície ou se a iluminância (E) será demasiadamente alta.

E, caso necessário, substitua o conjunto luminária/lâmpada, por um outro de menor ou maior intensidade luminosa (I), ou mesmo, modifique a altura (h) entre a luminária e a superfície, caso seja possível, o que também influenciará no valor da iluminância (E).

Exemplo 4

Qual será a distância (d') de um *spot* de sobrepor móvel, cujo facho de luz incide em um quadro de 1,00 m de diâmetro (Figura 16)?

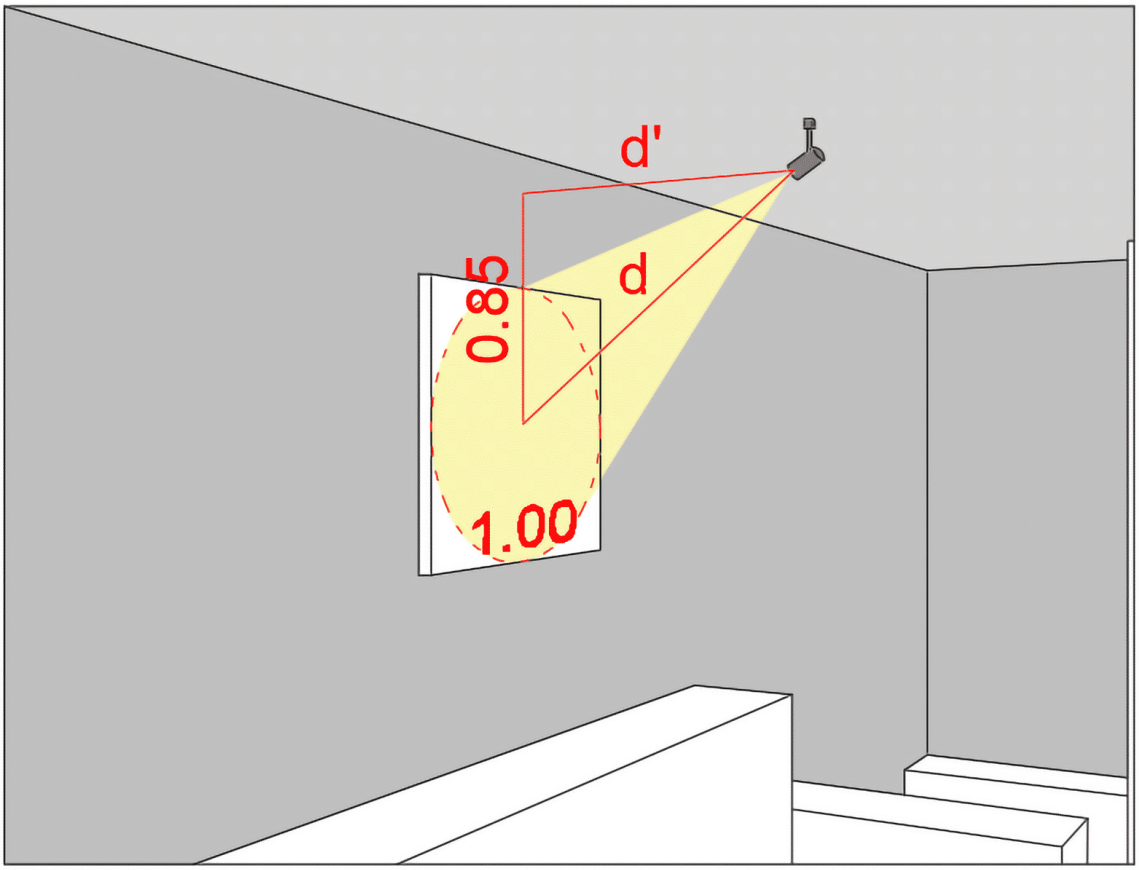

Figura 16 – Iluminação em um quadro disposto acima do cabideiro (lado esquerdo) da loja
Fonte: Acervo do Conteudista

#ParaTodosVerem: desenho da perspectiva da loja, com foco na iluminação de um quadro disposto acima do cabideiro, do lado esquerdo, da loja. As paredes e o teto estão representados na cor cinza. A perspectiva dá ênfase a uma luminária LED, tipo *spot* direcionável de sobrepor, cor cinza escura, localizada no teto, em frente a um quadro, na cor branca, com dimensões de 1,00m por 1,00n. A luminária emite um feixe de luz, representado na cor amarela clara. Da luminária até o centro do quadro, a altura é de 0,85m. A distância da luminária até a parede em que está o quadro é representada por d' e a distância do feixe de luz até o centro do quadro é representada por d. Fim da descrição.

- **Passo 1**: escolha a lâmpada a ser utilizada;
  Lâmpada LED dicroica, da marca Stella, modelo MINI DICROICA MR11 EVO 36° 3W.
  Dados da lâmpada:
  Fluxo luminoso (*lm*): 200;

Intensidade luminosa (*cd*): 390;
Ângulo de abertura (*graus*): 36;
Temperatura de cor (*K*): 2700.

- **Passo 2**: calcule a distância (*d'*);
  Utilize a fórmula:

$$D = 2 \,.\, d \,.\, tg \frac{\alpha}{2}$$

$$1{,}00 = 2 \,.\, d \,.\, tg \frac{36}{2}$$

$$D \cong 1{,}38\, m$$

Onde:

- D = diâmetro, em metros, da superfície iluminada;
- d = comprimento, em metros, do facho de luz entre a luminária e o ponto central da superfície iluminada;
- α = ângulo, em graus, de abertura do facho de luz.

Partindo de um h = 0,85m tem-se:

$$d^2 = h^2 + d'^2$$

$$d'^2 = d^2 - h^2$$

$$d' = \sqrt{d^2 - h^2}$$

$$d' = \sqrt{(1{,}38)^2 - (0{,}85)^2} \cong 1{,}09\, m$$

Onde:

- d = comprimento, em metros, do facho de luz entre a luminária e o ponto central da superfície iluminada;
- h = altura, em metros, da luminária até o ponto central da superfície iluminada;
- d' = distância, em metros, de instalação da luminária em relação à superfície a ser iluminada.

Qual será também a iluminância no ponto central da incidência do facho de luz?

Para cálculo da iluminância, utilize a fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

$$E = \frac{390}{(1{,}38)^2} \cong 205\ lx$$

Onde:

- E = iluminância, em lux, na superfície;
- I = intensidade luminosa, em candelas, da lâmpada;
- d = comprimento, em metros, do facho de luz entre a luminária e o ponto central da superfície iluminada.

Quanto maior o d, maior também será o d', e menor a iluminância (E) na superfície.

Sites

Marcas de lâmpadas e luminárias para consulta dos dados como: fluxo luminoso, intensidade luminosa, temperatura de cor, IRC, CRL, ângulo de abertura etc.

Light Tool
Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Lumicenter
Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Omega Light
Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Osram
Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Stella

Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Importante!

Foi utilizada como exemplo para cálculos de iluminação uma sala de aula e uma loja de roupas feminina. Porém, as metodologias de cálculo a serem utilizadas para outros usos, como residencial, industrial, hotéis, restaurantes etc. são as mesmas descritas no decorrer da Unidade. Para iluminação natural, utilize o cálculo do coeficiente de luz diurna e o cálculo da penetração de luz solar, e para iluminação artificial, utilize o método dos *lúmens* e/ou o método ponto a ponto. Pesquise e explore os pontos-chave para projeto luminotécnico de diferentes usos, elabore suposições e calcule manualmente para praticar, mas também aprenda a utilizar um *software*, como o *Dialux* ou outro, e, certamente, irá se surpreender com os resultados. Agora é com você!

Representação Gráfica do Projeto Luminotécnico

Atualmente, não existe nenhuma Norma brasileira que apresente a simbologia a ser utilizada em projetos luminotécnicos.

Assim, fica a critério do profissional a simbologia a ser utilizada, porém, é imprescindível que se apresente a identificação da simbologia, isto é, a legenda na qual se coloca o símbolo e a sua descrição.

Vídeo

Legenda para Projeto Luminotécnico

📄 Material Complementar

Indicações para saber mais sobre os assuntos abordados nesta Unidade:

Vídeos

Como Elaborar um Projeto Luminotécnico do Zero

Cálculo Luminotécnico: Método Simplificado

Cálculo Luminotécnico no DIALux

Leitura

ABNT NBR 10898:2013

Sistema de iluminação de emergência. A importância dos projetos de iluminação para a vitalidade das lojas da Apple.

Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Estratégias de Iluminação Artificial em Projetos de Interiores

Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Projeto Luminotécnico: 60 Dicas, Tipos de Iluminação e Projetos

Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Projeto Luminotécnico: Como Fazer?

Clique no botão para conferir o conteúdo.

ACESSE

Referências

TREGENZA, P.; LOE, D. **Projeto de iluminação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.